

GÉP

813

7

A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET MŰSZAKI FOLYÓIRATA



2009. november 5-6. Miskolc

**GÉPTERVEZŐK ÉS TERMÉKFEJLESZTŐK
XXV. SZEMINÁRIUMA**

2009/10-11.

96 oldal
LX. évfolyam

TARTALOM

1. Balogh G., Dr. Czigány T.: Pultrúziós berendezés fejlesztése	3	13. Magyar B., Dr. Horák P.: Csigahajtóművek veszteségeinek meghatározása zk-típusú hajtópárok esetén	47
2. Barányi I., Czifra Á.: Különböző megmunkálású felületek vizsgálata amplitúdó sűrűség spektrum (psd) analízissel...	7	14. Dr. Kakucs A., Dani P., Dr. Jármái K., Dr. Száva J., Gálfi B.: Kísérleti berendezés felhabzó tűzvédelmi bevonatok tanulmányozására	51
3. Bihari J.: Tisztateres környezet elérhető munkaterületének meghatározása	11	15. Dr. Jármái K., Dr. Farkas J., Oldh R.: Hegesztett szerkezetek optimális méretezésének újabb eredményei	55
4. Bódai G., Váradi K., Molnár L., Pálfi L.: Polietilén gázcső elszorítás kísérleti és numerikus vizsgálata	14	16. Juhász G., Dr. Juhász A., Dr. Eleőd A.: Súrlódó felületek vizsgálata keménységméréssel	61
5. Bóka G., Dr. Lovas L., Dr. Márialigeti J., Trencsényi B.: Automatizált nehéz haszonjármű sebességváltó elektro-pneumatikus előtétengelyfékének modellezése	18	17. Kertész A.: Polimerek vibrációs dörzshegesztése	65
6. Bölkény L.: Olaj és gázipari modellezésre szolgáló nagynyomású berendezés	22	Gyenis J., Németh J.: Új statikus perdítőelemes porkeverők	68
7. Bozay M.: Digitális felületrekonstrukcióval létrehozott cad modell vizsgálata	25	19. Pere B.: Gumikötél alacsony frekvenciás longitudinális rezgéseinek mechanikai és termodinamikai analízise	74
8. Dr. Apró F., Czégé L.: Fokozat nélküli Kapcsolt Bolygómu Tervezése .	29	20. Kovács N., Dr. Kovács J.: Újszerű fröccsöntőszerszám alkalmazása a műanyag fröccsöntésben	78
9. Czövek G.: Nyomástartó edény tervezése, szilárdsági méretezése és ellenőrzése	33	21. Sikló B., Dr. Kovács J.: Mérőeszköz fejlesztése pp termék deformációjának elemzéséhez	81
10. Ficzere P., Dr. Borbás L.: Gyors-prototípus készítő eljárással gyártott ter- mékek anyagtulajdonságainak meghatározása végelelemes analízis számára	36	22. Soós E.: Önmetsző csavarkötések kísérleti vizsgálata ciklikus hőterhelés esetén	84
11. Dr. Gáti J., Dr. Horváth S.: 130 Év az iparoktatásban, 40 év a felsőoktatásban	40	23. Vörös Cs.: Nagynyomású, magas hőmérsékletű olajipari modellberendezés fejlesztése	88
12. Dr. Goda T., Bódai G.: O-gyűrű szivárgás számítása korszerű numerikus módszerrel	43	24. Dr. Kátai L., Dr. Szabó I., Kajtár P.: Ékszíjak keresztmetszetének terhelésvizsgálata végelelemes analízissel	91

HEGESZTETT SZERKEZETEK OPTIMÁLIS MÉRETEZÉSÉNEK ÚJABB EREDMÉNYEI

NEW RESULTS IN THE OPTIMIZATION OF WELDED STRUCTURES

Dr. Jármay Károly*, Dr. Farkas József**, Oláh Róbert***

ABSTRACT

Structural optimization is a design system for searching better solutions, which better fulfil engineering requirements. The main requirements of a modern load-carrying structure are the safety, fitness for production and economy. The safety and producibility are guaranteed by design and fabrication constraints, and economy can be achieved by minimization of a cost function. The examples show this methodology.

1. BEVEZETÉS

Hegesztett szerkezetek méretezésénél nagyon fontos a tervezés-gyártás-gazdaságosság összekapcsolása. Mivel a hegesztés nem olcsó, ezért már a tervezés fázisában szükséges a különböző hegesztési technológiákat figyelembe venni, összehasonlítani. Ha csak a gyártási időket hasonlítjuk össze, már akkor jelentős eltérést kapunk, de a beruházási költségek figyelembe vételével még sokkal nagyobbak a különbségek. A szerkezetanalízishez fontos a megfelelő képletek megtalálása és/vagy a megfelelő végelemes szoftverek alkalmazása. A szerkezetoptimalizációs szoftverei külön csoportot alkotnak. Hasonlóan a tűzvédelmi szoftverek is.

Az elmúlt évben számos szerkezetet vizsgáltunk. Ezek közül mutatunk be néhányat.

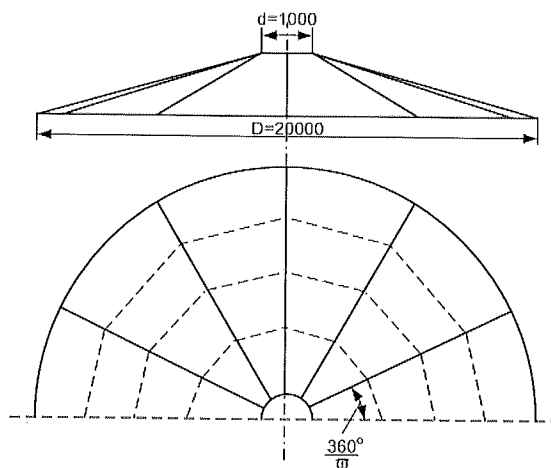
2. FIX TÁROLÓTETŐS TARTÁLY BORDÁZOTT TETEJÉNEK OPTIMÁLIS MÉRETEZÉSE

Az 1. ábra mutatja a tartálytető geometriáját. A terhelés hó- és földterhelés. Radiális és gyűrűbordák kerültek alkalmazásra. Már az elején kérdésként merült fel, hogy a bordázás egyenletes legyen-e, vagy változó távolságú. Timoshenko hajlítási tényező számítása alapján határoztuk meg a kedvező bordatávolságokat (2. ábra, 1. táblázat). A bordák hengerelt I-szelvényűek, a gyűrűborda fél I, a radiális borda teljes I-szelvény (3. ábra).

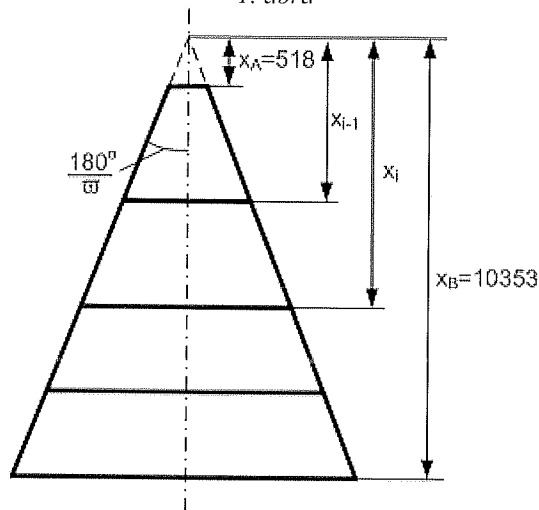
*egyetemi tanár; Miskolci Egyetem

** emeritusz professzor; Miskolci Egyetem

***egyetemi hallgató, Miskolci Egyetem



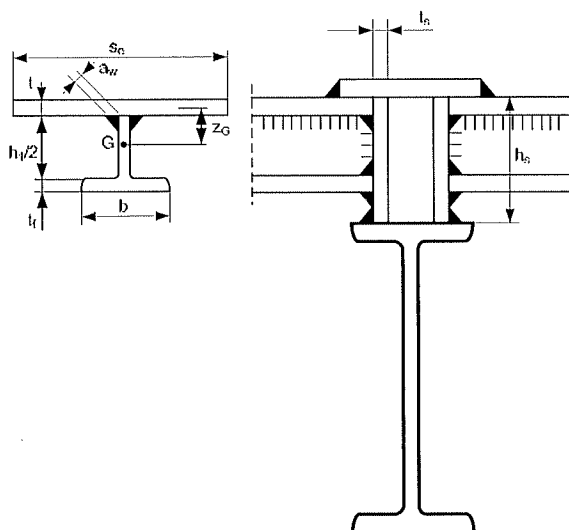
1. ábra



2. ábra

A költségszámítás során az anyag-, a hegesztési (előkészítés, gyártás, utómunkálatok az egyes varratoknál) költség, valamint a festési költségeket vettük figyelembe.

A számításnál MathCad programot használtunk azért, hogy a módosított számítások könnyen elvégezhetőek legyenek. A számítások azt mutatták, hogy a tömeg- és a költség minimuma eltérő. A nem egyenletes bordaelhelyezés kedvező hatású. A tömegminimum 14-es osztásnál van, a költségminimum 10-es osztásnál.



3. ábra

1. táblázat Merevítő távolságok $\omega = 12$ (osztás-szám) és $t = 4$ mm (fedőlemez vastagság) esetén

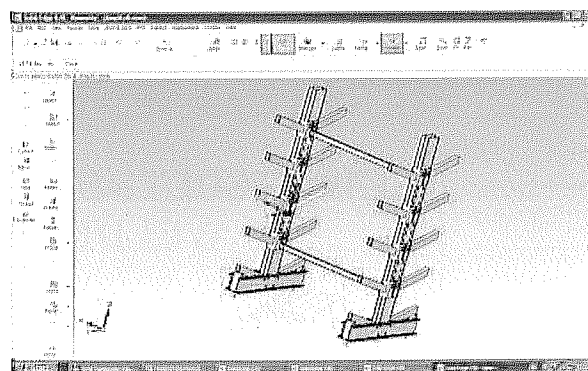
x_i mm	h mm
518	-
2197	152.4
3314	152.4
4299	152.4
5248	152.4
6184	152.4
7114	152.4
8041	152.4
8968	177.8
9600	177.8

2. táblázat Tömegek és költségek a teljes tartálytetőre

ω	ρV_{roof}	K_{roof} \$
10	24060	66550
12	23856	67400
14	23240	68470
16	24240	70650

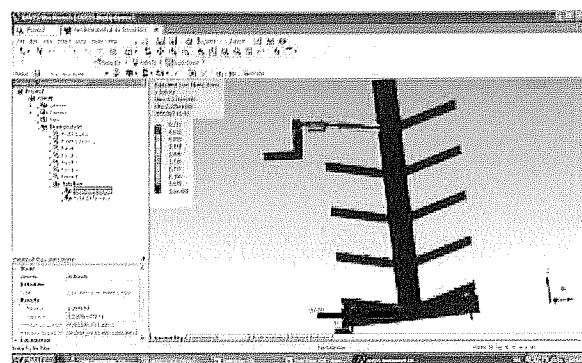
3. HEGESZTETT TARTÓVÁZ MÉRLETEZÉSE

A hegesztett tartóváz minden karján 6500 N statikus erő hat, ami a tényleges teherből jön ki 1.5-ös biztonsági tényező figyelembe vételével. A számítást két vonalon végeztük: az egyik a MathCad program volt, mellyel a névleges feszültségeket (normál, nyíró) és palástnyomásokat határoztuk meg képletek alapján. A másik a Solid Edge programmal 3 D-s rajzot készítve (4. ábra) az ANSYS végelemes programmal határoztuk meg a helyi feszültségeket, alakváltozásokat (5, 6 ábrák).



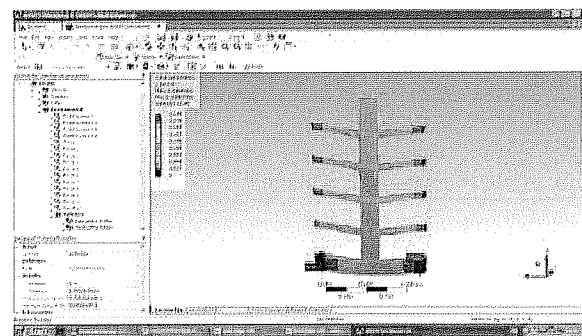
4. ábra

Megvizsgáltuk az alapterhelés mellett a karok normál- és nyírófeszültségét, az oszloprögzítéseket nyírásra és palástnyomásra, az alátámasztó gerendát excentrikus hajlításra és a dübel csavarok kiszakadására.



5. ábra

Extrém terheléseket is figyelembe vettünk, például a kitárazó karnál, ha nem rakják pontosan össze (5. ábra).



6. ábra

További extrém terhelés volt az, amikor targoncával nekimegyünk a keretnek és nézzük a feszültségeket. A 6. ábra ilyen vízszintes terhelés mutat.

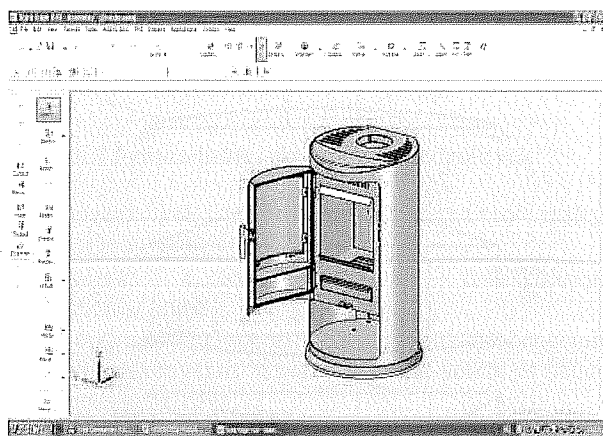
A vizsgálatok eredményeképpen jelentősen növelni kellett az alátámasztó gerendánál a dübel csavarhoz kapcsolódó lemez vastagságát, mert extrém terhelés esetén kiszakadhatott volna.

Mindkét számítási vonal járható egy bizonyos szintig. Lehetett képleteket találni a szerkezet viselkedésének leírására, viszont mély, részletes feszültség, alakváltozás, sőt sajátfrekvencia számítás már csak a végelemes módszerrel végezhető el.

4. KANDALLÓ TŰZTÉR HŐFÁRADÁSA

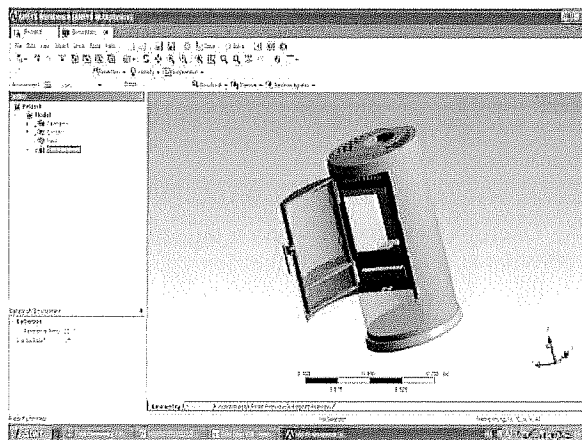
A következő alkalmazás kandalló tűztér vizsgálata, mely egy nagyon összetett szerkezet és egyes típusoknál viszonylag rövid idő után hőfáradásból származó repedés keletkezik.

A vizsgálat kiterjedhet a komplett szerkezetre, ebben az esetben a Solid Egde – Ansys szoftverpáros alkalmazható (7., 8. ábrák). Lehet a problémát koncentrálni és csak azt a lemezsarkat vizsgálni, ahol a repedés rendszeresen előfordult. Ebben az esetben már más módszerek is előjönnek a számításhoz, illetve a tönkremenetel fáradás jellegénél fogva kísérletek végzése válik szükségessé. Ebben az esetben viszont a szükséges idő nagy, mivel nem feszültségeket idézünk elő és változtatunk, hanem hőmérsékletet. A feszültségcsúcs helyét az ANSYS jól mutatja a 9. ábrán.

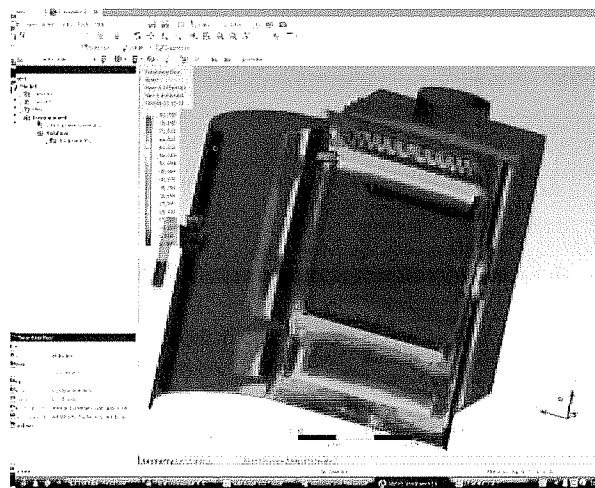


7. ábra

A vizsgálatok alapján a tűztér sarok geometriáját kellett módosítani, a felhasznált hőálló acél minőségét, illetve vastagságát. További biztosításként kis sarokmelevítés került felhegesztésre. Nem kizárható, sőt feltételezhető a szerkezet túlterhelése, túlfűtése. Ezt bizonyítani szinte lehetetlen, de a beömlő levegőnyílás csökkentésével lefojtható a kandalló és nem lehet annyira túlfűteni.



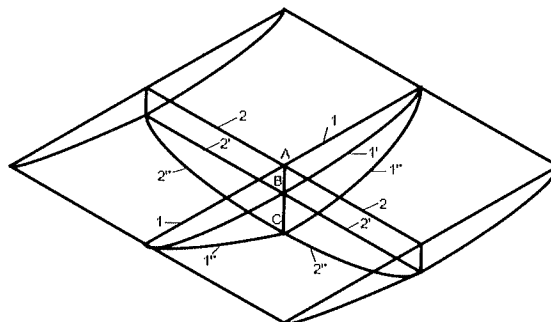
8. ábra



9. ábra Feszültségcsúcs helye

5. ORTHOGONÁLISAN BORDÁZOTT, HEGESZTETT ACÉLLEMEZ OPTIMÁLÁSA LEHÁJLÁSI FELTÉTELLEL

A hegesztési vetemedés általában gondot okoz. A kétirányban bordázott lemezeknél a hegesztésből adódó alakváltozásnak lehetnek kedvező hatásai is, ha figyelembe vesszük az ún. rácshatást (10. ábra).



10. ábra

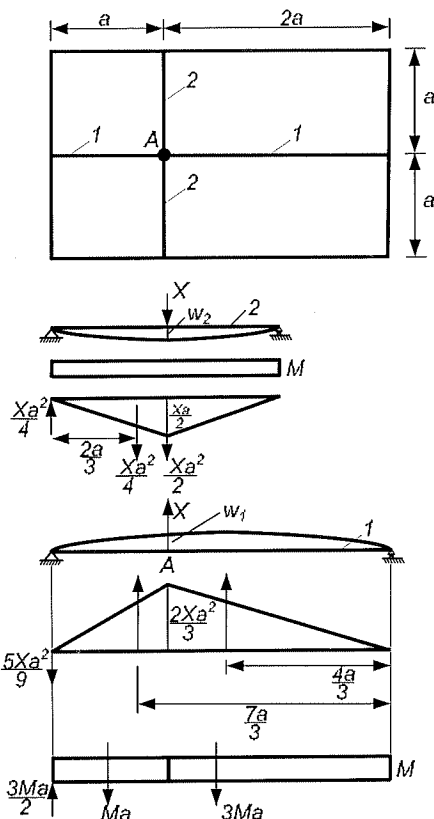
A hegesztés által okozott fajlagos alakváltozás és görbület közelítőleg számítható Okerblom alapján. Szerkezeti acélnál, ahol a hővezetési tényező $\alpha_o = 12 \times 10^{-6}$ [1/C°], a fajhő és a sűrűség $c_o \rho = 4.77 \times 10^{-3}$ [J/mm³/C°], a hőimpulzus a következő

$$A_T t \text{ [mm}^2\text{]} = 0.844 \times 10^{-3} Q_T \text{ [J/mm]}$$

Az Okerblom módszer alapján a fajlagos alakváltozás és görbület közelítőleg a következőkben számítható

$$\varepsilon_G = \frac{A_T t}{A} = -0.844 \times 10^{-3} \frac{Q_T}{A}$$

$$C = \frac{A_T t y_T}{I_x} = -0.844 \times 10^{-3} \frac{Q_T y_T}{I_x}$$



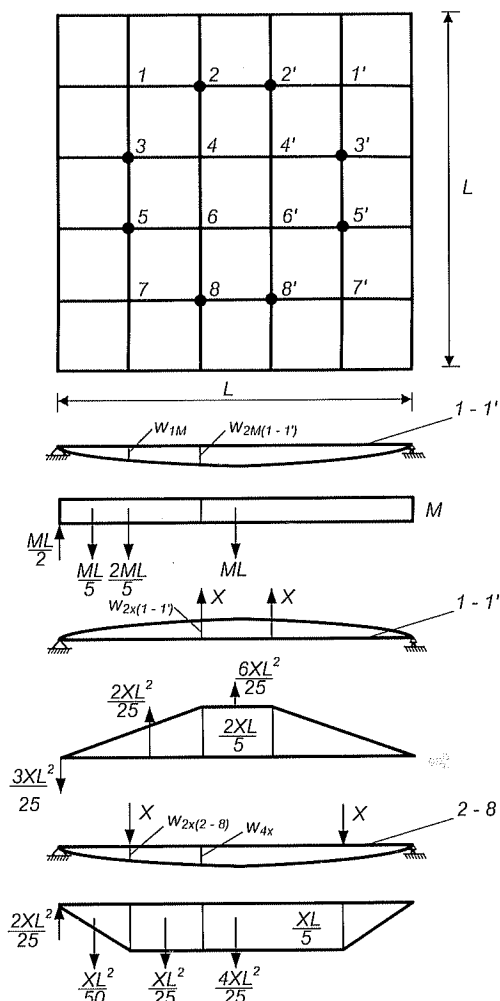
11. ábra

3. táblázat A bordázott lemez optimalása költségre rácshatás figyelembe vételével. A méretek mm-ben, a lehajláskorlát 6 mm.

h	t_w	t	w_{max}	K (\$)
240	18	23	5.95	16490
250	18	21	5.87	15850
260	19	19	5.95	15670
270	20	18	5.96	15920
280	20	17	5.88	15700
290	21	17	5.77	16370

A 11. ábra mutatja, hogy a rácshatás a szerkezeti rész deformációjával ellentétes belső erőt produkál, csökkentve ezzel az eredő értéket.

Ezt a számítást elvégezve a 12. ábrán látható szerkezetre, ahol: $L = 6000$, $a = 1200$ mm, $p_0 = 5000$ N/m² = 5×10^{-3} N/mm², $f_y = 235$, $f_{y1} = f_y/1.1$, $E = 2.1 \times 10^5$ MPa eredményként a 3-as és 4-es táblázatot kapjuk rácshatással és rácshatás nélkül. h a bordamagasság, t_w a gerincvastagság, t a fedőlemez vastagság, K az összköltség (anyag, hegesztés, festés).



12. ábra

4. táblázat A bordázott lemez optimalása költségre rácshatás figyelembe vétele nélkül. A méretek mm-ben, a lehajláskorlát 6 mm.

H_1	t_{w1}	t_1	w_{max1}	K_1 (\$)
240	18	26	5.795	18570
245	18	25	5.88	18160
250	18	24	5.98	17750
255	19	24	5.94	18230
260	19	24	5.80	18310
270	20	23	6.00	18430
280	20	23	5.75	18580
290	21	23	5.77	19210

Látható, hogy a rácshatás figyelembe vételével a teljes költség csökken $100(17750-15670)/17750 = 12\%$ -al.

6. NYOMOTT OSZLOP OPTIMÁLÁSA TÜZTERHELESKOR ANYAG ÉS KÖLTSÉGMINIMUMRA

Hőre habosodó festékbevonatok tűzvédelmi alkalmazását vizsgálva, érdekes képet kapunk, ha összehasonlítjuk a tűzterherre méretezett védelem nélküli és a tűzvédelmi bevonattal ellátott szerkezetek összköltségeit. A védelem nélküli szelvényhízalással túlméretezett és a tűzvédelmi bevonattal ellátott elemek összköltségei azt bizonyítják, hogy már 30 perces tűzvédelem esetén is gazdaságosabb a bevonat alkalmazása, ez a hasznosság a tűzvédelmi idő növelésével azonosan nő. A megfelelő optimalizálás elvégzése mindkét esetben jól érzékelhető képet ad a két tervezési módszer közötti különbségről.

Két végén csuklós, centrikusan nyomott oszlop vizsgálatát végeztük el hegesztett és hengerelt I-szelvény alkalmazása mellett. A hosszúságát változtattuk 2–4 méter között. Az erő, az anyagminőség állandó volt.

Költségeként acélköltséget, festésköltséget, mely magában foglalja a felületelőszítést, az alapozó- és fedőbevonatot. A tűzvédelmi bevonat és a hegesztési költség szintén beszámításra került a megfelelő esetekben.

6.1 Számadatok, optimalizálási eredmények

$N_{er0}=1600$ kN; $f_y=235$ MPa; $E=2,1 \cdot 10^5$ MPa;
 $L=2000/2500/3000/3500/4000$ mm;

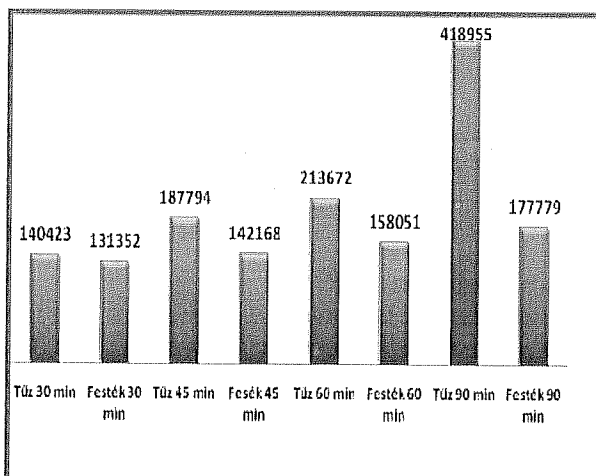
Költségek: k_{ac} : acélköltség; k_p : festésköltség;
 k_w : hegesztési költség.

Az optimalizálást elvégeztük hegesztett és hengerelt nyomott szelvényekre, tűzvédő bevonat nélkül és habosodó festékekkel ellátva.

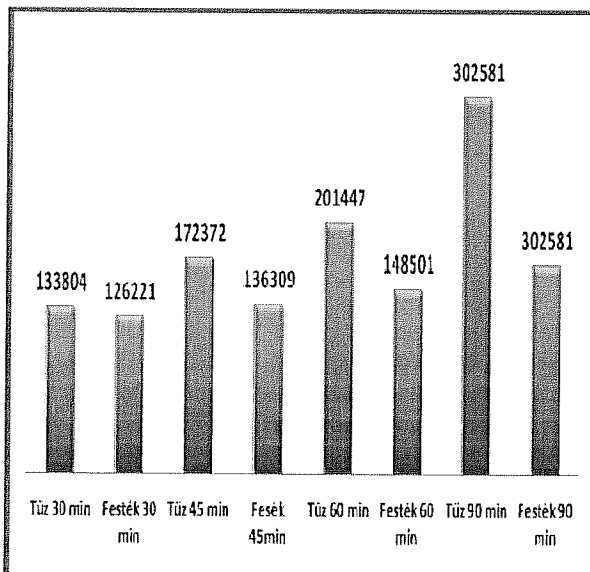
Változhat az eredmény, amennyiben a teljes költséget vizsgáljuk, hiszen a nyomott oszlop többlet acélmennyisége áll szemben a passzív tűzvédelmi bevonatok anyagköltségeivel és azok felszerelési, felhordási költségeivel.

A 13. és 14. ábrák mutatják az összköltséget egy adott hosszra ($L=4$ m) az összehasonlítást különböző tűzállósági időre bevonat nélkül és habosodó festék bevonattal hegesztett és hengerelt szelvényre. Azt mutatják, hogy növelve a tűzállósági időt exponenciálisan növekszik a költség bevonat nélküli esetben. Tűzvédelmi bevonat alkalmazása esetén szintén növekednek a költségek, de jóval kisebb mértékben. Ez mutatja a védőbevonat alkalmazásának gazdaságosságát. A növekedés bevonat nélküli esetben jóval nagyobb hegesztett szelvényre, mint hengereltre. Az ok a falvastagságban keresendő, mert a hegesztett szelvény optimális falvastagsága kisebb a hengereltnél. Tűz esetén ez kedvezőtlen.

Összköltségek hegesztett szelvény esetén:



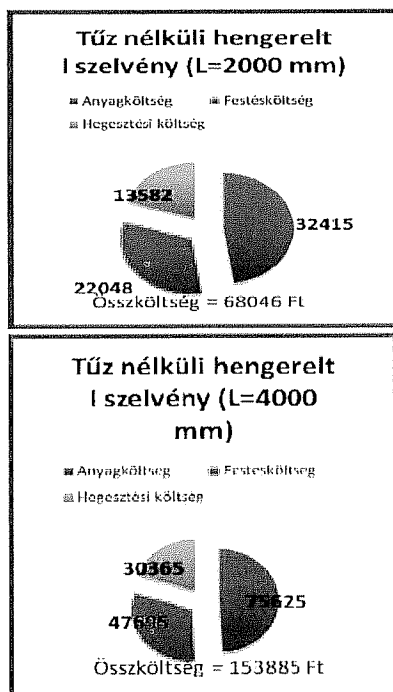
13. ábra $L=4000$ mm hegesztett szelvényű acélelem tűzvédelmi költségei



14. ábra $L=4000$ mm hengerelt szelvényű acélelem tűzvédelmi költségei

6.2 Oszlop magasság változásának hatása az optimumra

Az optimum jelentősen függ az oszlop hosszától is. A 15. ábra mutatja egy tűz nélküli hengerelt szelvény esetén a különbségeket. Az oszlop magasságával arányos a költség, de a belső költségarányok (anyagköltség, festési költség, hegesztési költség) nem függenek különösen tőle.



15. ábra A költségminimumok változásának összehasonlítása az oszlop magasság függvényében

ÖSSZEFOGLALÁS

A bemutatott hegesztett szerkezetek mutatják, hogy a tervezés-gyártás-gazdaságosság összekapcsolása milyen fontos. Így lehet meghatározni például a tartálytető, a tartóváz optimális geometriáját, méreteit, de ez segít a tűztér hőfáradásának kezelésében is. A bordázott lemeznel bemutattuk, hogy a rácshatás figyelembevétele költségcsökkentő hatású. Végül a nyomott hengerelt és hegesztett I-szelvényeknél látható a tűznek kitett szerkezet optimalizálása és a tűzvédelem fontossága.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetet mondunk Polgár Róbert végzett hallgatónak, valamint Cserjés Ferencnek a Fireplace Kft.-től a munkában való részvételért. A kutatás az Országos Tudományos Kutatási Alap OTKA T75678 projekt támogatásával történt.

IRODALOM

- [1] TIMOSHENKO S. AND WOINOWSKY-KRIEGER S. *Theory of plates and shells*, New York-Toronto-London: McGraw Hill, 1959.
- [2] JÁRMAI, K., FARKAS, J.: Optimum design of welded stiffened plate structure for a fixed storage tank roof, *Welding in the World*, Volume 52, Issue SPEC. ISS., 2008, pp. 137-142. ISSN 0043-2288
- [3] POLGÁR, R., JÁRMAI, K.: Surface protection and coating at engineering structures, *XXIII. MicroCAD 2009*, 19-20. March 2009, University of Miskolc, Hungary. Section O, pp. 177-184. ISBN 978-963-661-880-3
- [4] JÁRMAI, K., FARKAS, J.: Cost minimization of a circular floor constructed from welded stiffened steel sectorial plates, *8th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization, WCSMO8*, Lisbon, June 1-5, 2009, Portugal. CD-ROM Proceedings. pdf/27/1021.pdf, 10 p.
- [5] POLGÁR, R., JÁRMAI, K.: Hengerelt és hegesztett I-szelvényű acéloszlopok optimalizálása tűzvédelemre, *Acélszerkezetek*, Vol. 6, No. 2, 2009, 50-57. old. ISSN 1785-4822
- [6] JÁRMAI, K., FARKAS, J.: Minimum cost design of an orthogonally stiffened welded steel plate with a deflection constraint, *IIW International Conference on Advances in Welding and Allied Technologies*, Singapore, July 16-17, 2009, Proceedings 131-136. Singapore Welding Society, ISBN 978-08-3259-9.
- [7] MORENTE, F., DE LA QUINTANA, J.: Software for fire design, *LABEIN TECNALIA Technological Centre, Bilbao, Spain*
- [8] EC3 – Eurocode 3 Part 1.2 (ENV 1993-1-2).
- [9] EC4 – Eurocode 4 Part 1.1 (ENV 1994-1-1) and Part 1.2 (ENV 1994-1-2).
- [10] FARKAS, J., JÁRMAI, K.: Design and optimization of metal structures, *Horwood Publishers*, Chichester, UK, 2008. 328 p. ISBN: 978-1-904275-29-9
- [11] JÁRMAI, K., IVÁNYI, M.: Acélszerkezetek tűzvédelmi tervezése, *Gazdász-Elasztik Kft. Miskolc*, 259 old. 2008. ISBN 978-963-87738-4-5

